

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**  
**(РУТ (МИИТ))**



Рабочая программа дисциплины (модуля),  
как компонент образовательной программы  
высшего образования - программы бакалавриата  
по направлению подготовки  
02.03.02 Фундаментальная информатика и  
информационные технологии,  
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)  
Тимониным В.С.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Квантовая теория поля**

Направление подготовки: 02.03.02 Фундаментальная информатика и  
информационные технологии

Направленность (профиль): Квантовые вычислительные системы и сети

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде  
электронного документа выгружена из единой  
корпоративной информационной системы управления  
университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)  
ID подписи: 1178210  
Подписал: заведующий кафедрой Быков Никита Валерьевич  
Дата: 24.10.2024

## 1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целями освоения дисциплины (модуля) «Квантовая теория поля» являются:

- формирование компетенций в области теории поля, стохастического анализа полей и анализа когерентных состояний.

- формирование навыков анализа квантованных полей.

Задачами дисциплины (модуля) «Квантовая теория поля» являются:

- изучение основных закономерностей классической теории поля и стохастической оптики;

- изучение теории квантованных полей;

- изучение теории когерентных состояний поля;

- изучение основных методов анализа квантованных полей, механизмов вторичного квантования, диаграммной техники, интегралов по траекториям и теории фазовых переходов 2 рода.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

**ОПК-1** - Способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности;

**ПК-1** - Способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений.

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

### **Знать:**

- основные отличия классической теории поля от квантовой теории поля;

- теорию лагранжева и гамильтонова формализма в теории поля;

- основные положения стохастической оптики, интерференции и теории когерентности;

- основные положения квантовой теории поля, теории лазеров, элементы фейнмановской диаграммной техники;

- основные понятия, закономерности и законы в области физики квантовых вычислений.

**Уметь:**

- определять вид лагранжиана и гамильтониана в различных моделях полей; анализировать явления когерентности в различных ситуациях;
- пользоваться операторами рождения и уничтожения;
- вычислять корреляционные функции;
- использовать профессиональные знания для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений.

**Владеть:**

- основными методами анализа квантованных полей;
- методами построения корреляционных функций;
- методами анализа когерентных состояний;
- диаграммной техникой;
- навыками применения методов анализа и синтеза физической информации для решения профессиональных задач.

**3. Объем дисциплины (модуля).****3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).**

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 4 з.е. (144 академических часа(ов)).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

Тип учебных занятий	Количество часов	
	Всего	Семестр №3
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	48	48
В том числе:		
Занятия лекционного типа	32	32
Занятия семинарского типа	16	16

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 96 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован

полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля).

##### 4.1. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	<p>Элементы классической теории поля</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- лагранжев и гамильтонов формализм;</li> <li>- каноническое квантование;</li> <li>- законы сохранения и симметрии.</li> </ul>
2	<p>Флуктуации классического поля</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- флуктуация электромагнитного поля;</li> <li>- феноменологическая теория фотоотчетов;</li> <li>- процесс Пуассона;</li> <li>- усреднение распределения Пуассона по величине, попавшей в детектор энергии;</li> <li>- формула Мандела.</li> </ul>
3	<p>Стохастическая оптика</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- корреляционная функция классического сигнала;</li> <li>- спектральная плотность мощности;</li> <li>- теорема Винера-Хинчина.</li> </ul>
4	<p>Когерентность для классического поля</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- опыт Юнга;</li> <li>- функция взаимной когерентности;</li> <li>- теорема ван Ситтера-Цернике.</li> </ul>
5	<p>Интерференция для классического поля</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- интерферометр Майкельсона, интерферометр Маха-Цендера;</li> <li>- поперечная длина когерентности;</li> <li>- схема Брауна-Твисса.</li> </ul>
6	<p>Квантованное поле</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- гармонические полевые моды, их конфигурации в разложении напряженности поля;</li> <li>- переход к оператору напряженности поля;</li> <li>- операторы рождения и уничтожения фотонов;</li> <li>- гамильтониан свободного поля;</li> <li>- каноническое квантование.</li> </ul>
7	<p>Фононы</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- тождественность частиц и симметризация волновой функции;</li> <li>- вторичное квантование;</li> </ul>

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- микроскопическая и макроскопическая модели;</li> <li>- деформационный потенциал;</li> <li>- электрон-фононное взаимодействие.</li> </ul>
8	<p>Глауберовская теория атомного детектора</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пример детектора с двумя атомами;</li> <li>- корреляционные функции квантованного поля;</li> <li>- нормированная функция когерентности.</li> </ul>
9	<p>Когерентные состояния квантованного поля</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- свойства состояния, собственного для положительной частотной части оператора напряженности поля;</li> <li>- когерентное состояние как собственное для оператора уничтожения фотонов;</li> <li>- коэффициенты разложения когерентных состояний по базису Фока.</li> </ul>
10	<p>Анализ когерентных состояний</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- полнота множества когерентных состояний;</li> <li>- глауберовское представление матрицы плотности;</li> <li>- характеристические функции квантованного состояния моды.</li> </ul>
11	<p>Нерелятивистский лазер</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- инверсия заселенностей;</li> <li>- двухуровневая модель;</li> <li>- трехуровневая модель;</li> <li>- когерентность излучения.</li> </ul>
12	<p>«Скоростная» модель лазера</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- порог генерации;</li> <li>- уравнение Фоккера-Планка;</li> <li>- случаи стационарных состояний выше и ниже порога генерации;</li> <li>- приближенное решение для корреляционных функций амплитуды и интенсивности;</li> <li>- сужение линии генерации и замедление флуктуаций интенсивности близи порога генерации.</li> </ul>
13	<p>Модель Джейнса-Каммингса</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- гамильтониан двухуровневого атома в дипольном резонансном приближении;</li> <li>- энергии «одетых» состояний;</li> <li>- осцилляции Раби.</li> </ul>
14	<p>Диаграммная техника</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- функция Грина;</li> <li>- двухточечные корреляционные функции;</li> <li>- фейнмановский пропагатор;</li> <li>- теория возмущений.</li> </ul>
15	<p>Интеграл по траекториям</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вычисление средних по основному состоянию;</li> <li>- функциональный интеграл для квантовой теории поля;</li> <li>- функция Грина свободного поля;</li> <li>- теория возмущений.</li> </ul>
16	<p>Флуктуационная теория фазовых переходов 2 рода</p>

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	Рассматриваемые вопросы: - фазовые переходы 2 рода; - модель Изинга; - теория Ландау.

#### 4.2. Занятия семинарского типа.

##### Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	<b>Основы классической теории поля</b> В результате выполнения практического задания студент получает навыки составления лагранжиана и гамильтониана для классических полей, осваивает основные методы анализа флуктуаций классических полей.
2	<b>Когерентность в классических полях</b> В результате выполнения практического задания студент получает умение решения задач интерференции, определения длины когерентности, построение корреляционных функций сигналов.
3	<b>Функционалы и вариации</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык работы с функционалами, решения задач вариационного исчисления.
4	<b>Квантованное поле и фононы</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык работы с квантованными полями, операторами рождения и уничтожения.
5	<b>Когерентность в квантовой теории поля</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач определения основных свойств когерентных состояний в квантовой теории поля.
6	<b>Лазеры</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач в рамках нерелятивистской и «скоростной» моделей лазера.
7	<b>Диаграммная техника</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач методом фейнмановской диаграммной техники.
8	<b>Интегралы по траекториям</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык вычисления средних по состояниям, использование теории возмущений.

#### 4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Подготовка к практическим занятиям.
2	Работа с лекционным материалом.
3	Работа с литературой.
4	Подготовка к промежуточной аттестации.
5	Подготовка к текущему контролю.

5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	Основы квантовой информации: учеб. пособие для студ. спец. Системы обеспечения движения поездов / Л. М. Журавлева, О. Е. Журавлев; МИИТ. Каф. Автоматика, телемеханика и связь на ж.-д. транспорте. - М.: РУТ (МИИТ), 2018.	<a href="https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/DC-811.pdf">https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/DC-811.pdf</a>
2	Сальников, А. Н. Физика. Основные принципы : учебник для вузов / А. Н. Сальников. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 408 с. — ISBN 978-5-8114-8300-6.	<a href="https://e.lanbook.com/book/193329">https://e.lanbook.com/book/193329</a>

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

Электронно-библиотечная система Научно-технической библиотеки РУТ (МИИТ): <http://library.miit.ru>

Электронно-библиотечная система ЛАНЬ (<https://e.lanbook.com/>).

Образовательная платформа Юрайт (<https://urait.ru/>).

Информационный портал Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru));

Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов (<http://window.edu.ru>).

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

Microsoft Windows

Microsoft Office

Интернет-браузер (Yandex и др.)

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

Учебная аудитория для проведения учебных занятий (занятий лекционного типа, практических занятий):

- мультимедийное оборудование, компьютер преподавателя.

Аудитория подключена к сети.

9. Форма промежуточной аттестации:

Зачет в 3 семестре.

10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

заведующий кафедрой, доцент, д.н.  
кафедры «Физика»

Н.В. Быков

Согласовано:

Заведующий кафедрой ВССиИБ

Б.В. Желенков

Заведующий кафедрой Физика

Н.В. Быков

Председатель учебно-методической  
комиссии

Н.А. Андриянова